

## 个旧矿集区东区重力场特征及 地质-地球物理找矿模型

李 忠<sup>1,2</sup>, 代达龙<sup>1,2</sup>, 张小兵<sup>1,2</sup>, 李开毕<sup>3</sup>,  
王光杰<sup>4</sup>, 唐 鉴<sup>1,2</sup>, 曹 涛<sup>1,2</sup>, 王小虎<sup>3</sup>

(1. 云南省地质调查院(云南省地质科学研究院), 昆明 650216;

2. 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明 650051;

3. 云南省地质调查局, 昆明 650216;

4. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**[摘要]** 利用 1:5 万重力测量数据, 分析云南省个旧矿集区东区重力(剩余)异常特征; 基于剩余重力异常, 综合分析多尺度断裂体系的构造特征, 确定了 11 条断裂, 其中 EW 向 4 条断裂为主要控岩控矿断裂; 圈定了隐伏岩体突起范围。依据物性(密度)测定结果, 结合 2 条剖面成果推断矿区深部岩体和矿体分布形态; 并圈定隐伏矿体 13 处, 其中 6 处为已知矿体, 其余 7 处找矿前景良好。总结了花岗岩体和断裂与重力异常特征的对应关系, 根据花岗岩体、断裂构造与矿体之间的关系, 建立了地质-地球物理找矿模型。

**[关键词]** 个旧; 花岗岩体; 断裂; 重力异常; 重力正反演

**[分类号]** P631.1

**[文献标志码]** A

## Characteristics of gravity field and establishment of geological and geophysical prospecting model in east Gejiu ore concentration area

LI Zhong<sup>1,2</sup>, DAI Dalong<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaobing<sup>1,2</sup>, LI Kaibi<sup>3</sup>,  
WANG Guangjie<sup>4</sup>, TANG Jian<sup>1,2</sup>, CAO Tao<sup>1,2</sup>, WANG Xiaohu<sup>3</sup>

1. Yunnan Institute of Geological Survey (Yunnan Academy of Geological Sciences), Kunming 650216, China;

2. Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, MNR,  
Kunming 650051, China;

3. Yunnan Geological Survey, Kunming 650216, China;

4. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

**Abstract:** Gejiu tin-copper polymetallic ore concentration area is located in Yunnan Province, and is currently the largest tin-polymetallic ore concentration area in China. In this paper, 1:50000 gravimetric data are used to study the gravity (residual) anomaly characteristics in the eastern Gejiu ore concentration area. Based on the residual gravity anomaly, the structural characteristics of the

**[收稿日期]** 2022-02-19。

**[基金项目]** 中国科学院专题(2016YFC0600507-3)

**[第一作者]** 李忠(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 地球物理, E-mail: 278618901@qq.com。

**[通信作者]** 代达龙(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 地球物理, E-mail: 277632890@qq.com。

multi-scale fault system are comprehensively analyzed, and 11 faults are identified, among which 4 faults in the EW direction are determined as main rock and ore controlling faults, and the bulge range of hidden rock mass is also defined. According to the results of physical property (density) measurement and combined with the results of two sections, the distribution form of deep rock mass and ore body in the mining area is inferred. Thirteen hidden ore bodies are delineated, of which 6 are previously known ore bodies and the other 7 have good prospecting prospects. The corresponding relationship between granitic body, fault and gravity anomaly is comprehensively summarized, and a geological-geophysical prospecting model is established in reference to the relationship.

**Key words:** Gejiu area; granite body; crack; gravity anomaly; gravity forward and inversion

个旧锡铜多金属矿集区地处云南省个旧市,目前是中国规模最大的锡-多金属矿集区<sup>[1]</sup>。多年以来,随着矿区勘查深度的加大和系统研究的不断深入,找矿对象由最初的地表砂锡矿床转变为寻找赋存于浅部和中深部的锡、铜、铅锌、金等多金属矿床<sup>[2]</sup>。同时对于矿集区成矿模式和赋矿规律的认识也有了很大的变化,由最初“岩浆热液成因论”<sup>[3-5]</sup>转变为“多期多源和多因复成矿论”<sup>[6-11]</sup>,并总结出“两楼一梯”<sup>[12-14]</sup>、“丰字型”<sup>[15]</sup>、“两楼一梯+地下室”等成矿模式,成矿规律认识的不断更新展示了个旧矿集区成矿具有多样性<sup>[16]</sup>。从已有的资料分析,该区各种成矿模式均显示个旧多金属矿床的形成与燕山期岩浆活动密切相关<sup>[17-18]</sup>,已知的几大矿田矿体的空间分布基本上都是以隐伏花岗岩为中心,围绕着花岗岩体成群成带分布<sup>[19]</sup>,在花岗岩体陡、缓交替处,岩体顶部呈盆、槽洼处均是成矿有利部位<sup>[20]</sup>,近年来新发现的蚀变花岗岩型矿体也主要分布于花岗岩体接触带附近。总之,该区隐伏岩体和断裂构造对成矿具有重要作用。本文以研究区 1:5 万高精度重力测量数据<sup>[21]</sup>为主分析隐伏岩体和断裂构造的分布状态,并圈定成矿有利地段,初步建立地质-地球物理找矿模型。

## 1 地质背景

本次研究区位于个旧矿集区东区(图 1),研究的范围基本涵盖了个旧矿区已知的几大矿田。其区域地质构造位置为扬子准地台、华南褶皱系及唐古拉-昌都-兰坪-思茅褶皱系三大地质构造单元汇聚地带之华南褶皱系右江地槽褶皱带西南端(图 1-A)<sup>[22]</sup>。研究区内出露地层以中三叠统个旧组( $T_2g$ )为主,岩性为碳酸盐岩,其下部含基性火山岩,是锡-多金属矿的最主要容矿层;中

三叠统法郎组( $T_2f$ )小面积出露于北部;第四系全新统( $Qh$ )出露于研究区东北角。

研究区自中三叠世沉积形成了以碳酸盐岩为主的地层以来,经历了印支晚期的造山作用,燕山中晚期的构造-岩浆及成矿作用,喜马拉雅早期的构造-岩浆作用和新近纪的构造作用,使得区内褶皱和断裂构造较为发育<sup>[23]</sup>。①北东向:褶皱主要有五子山复背斜,为南盘江凹断褶带在印支期末一燕山期初回返褶皱而成,是区内最重要的控岩、控矿构造;断裂主要有杨家田断裂、黄泥洞断裂和五子山复背斜轴部断裂带等。②近东西向:褶皱主要有马松穹隆、老厂背斜、大青向斜以及卡房褶皱带;断裂主要有个松断裂、背阴山断裂、蒙子庙断裂带、老熊洞断裂、仙人洞断裂、龙树脚断裂、白龙断裂等。③北西向:区域北西向褶皱、断裂较少,主要有白沙冲断裂。④南北向:个旧断裂、甲介山断裂。根据前人研究成果,区内构造演化史为:印支晚期—燕山早期(SN)→燕山中晚期(NW-SE)→喜马拉雅构造运动早期(NE-SW)→喜马拉雅构造运动晚期(EW)<sup>[24]</sup>。

研究区的岩浆活动从印支期一直延续到燕山期。岩浆岩主要为花岗岩;花岗岩与区内锡-多金属矿床成矿关系十分密切,为区内成矿作用提供了主要热源与部分矿源。花岗岩除在白沙冲、北炮台和卡房等地有小面积出露外,主要隐伏于地表以下 0.2~1.5 km。大部分已探明的金属储量都分布在隐伏花岗岩体的接触带及上部围岩中<sup>[25]</sup>。

## 2 区域重力场特征

本文所使用的重力数据来源于云南省地质调查院在 2010—2011 年实施的“云南省个旧地区锡铜矿整装勘查 1:5 万重力测量”项目,使用仪器为

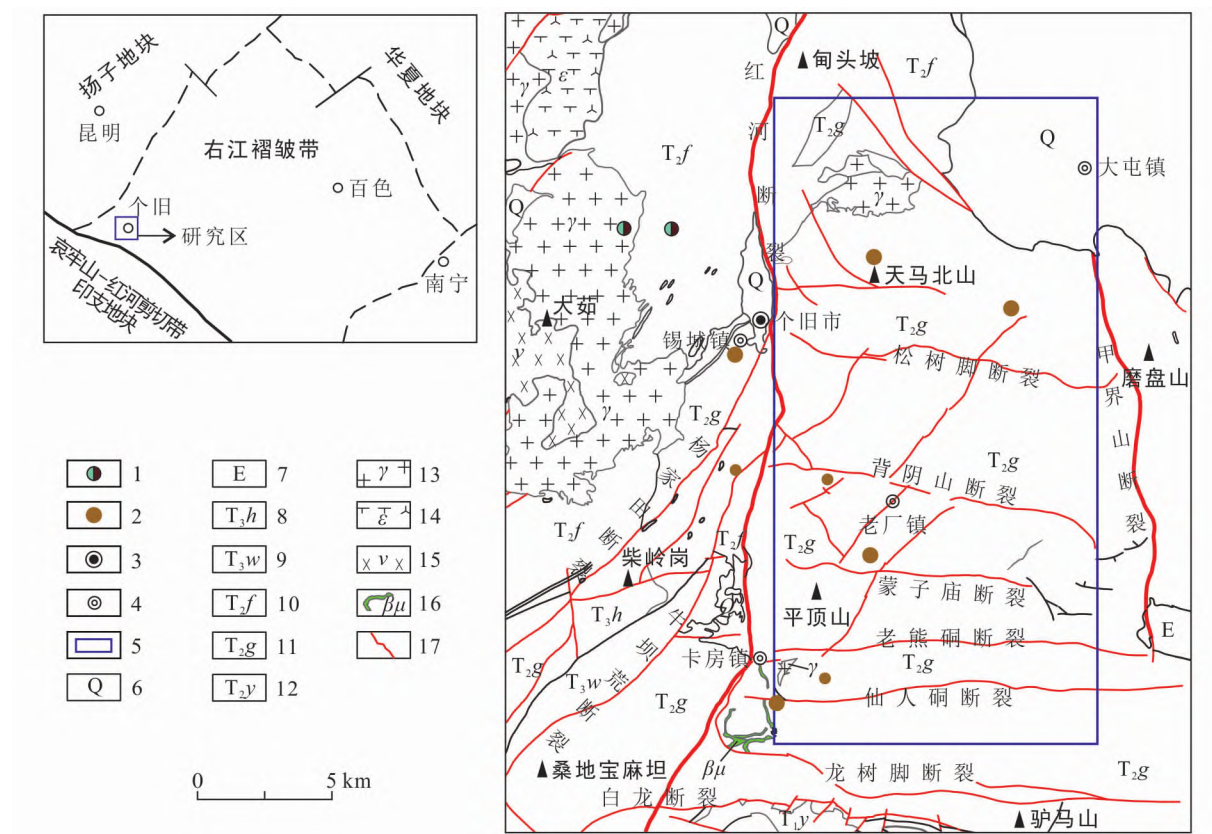


图 1 研究区区域地质图

**Fig. 1** Regional geological map of the study area

1. 铅矿点; 2. 锡矿床; 3. 县级市; 4. 乡镇; 5. 研究区; 6. 第四系; 7. 第三系; 8. 火把冲组; 9. 乌格组; 10. 法郎组; 11. 个旧组; 12. 永宁组; 13. 花岗岩; 14. 正长岩; 15. 辉长岩; 16. 玄武岩; 17. 断裂

CG-5 型重力仪,布格重力异常精度为 $\pm 0.199 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ,范围基本覆盖了个旧锡铜多金属矿集区东区。

### 2.1 布格重力异常特征

研究区位于个旧市东侧,布格重力异常平面图(图 2)显示,异常总体呈现北西低、东南高的特点。研究区中部布格重力异常较宽缓,四周均为明显的梯级带,尤其东南侧为密集的北东向展布的梯级带;北侧为北西西向展布的梯级带,西侧为近南北向展布的梯级带。初步推断梯度带受花岗岩侵入深度不同所致。极大值位于研究区东南角,说明该处花岗岩侵入深度最大。极小值位于研究区西侧的个旧市金湖。

## 2.2 剩余异常特征

剩余重力异常平面图(图 2)显示,由于区内构造发育,地层、岩体结构复杂,使得剩余重力异常曲线变化也复杂,在区内形成多个局部重力异常,各个局部异常的形态各异,呈不规则状分布。剩余负异常主要沿北东向断续分布于研究区内,

异常展布方向各异。在小马拉格、瓦房冲西侧、老厂、卡房形成较好局部重力负异常,初步推测为花岗岩体向上隆起所致,与各大矿体位置基本吻合。

### 2.3 物性特征

根据“云南省个旧地区锡铜矿整装勘查 1:5 万重力测量”项目对岩(矿)石密度的统计结果(表 1)。研究区内主要出露地层个旧组为相对高密度地层,局部小范围出露的花岗岩的平均密度比围岩密度低  $0.15 \times 10^3 \text{ g/cm}^3$  左右,为低密度体。对照研究区内剩余重力异常,在岩体出露位置及附近剩余重力异常均为负异常,认为研究区内剩余重力负异常应与深部隐伏岩体有一定的关系。

### 3 重力异常特征与地质解译

### 3.1 断层的划分

根据布格重力异常,剩余重力异常,垂向二阶导数异常,  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ 水平导数异常以及水平梯度模等数据位场处理手段,在研究区内划分断裂 11 条(图 3)。



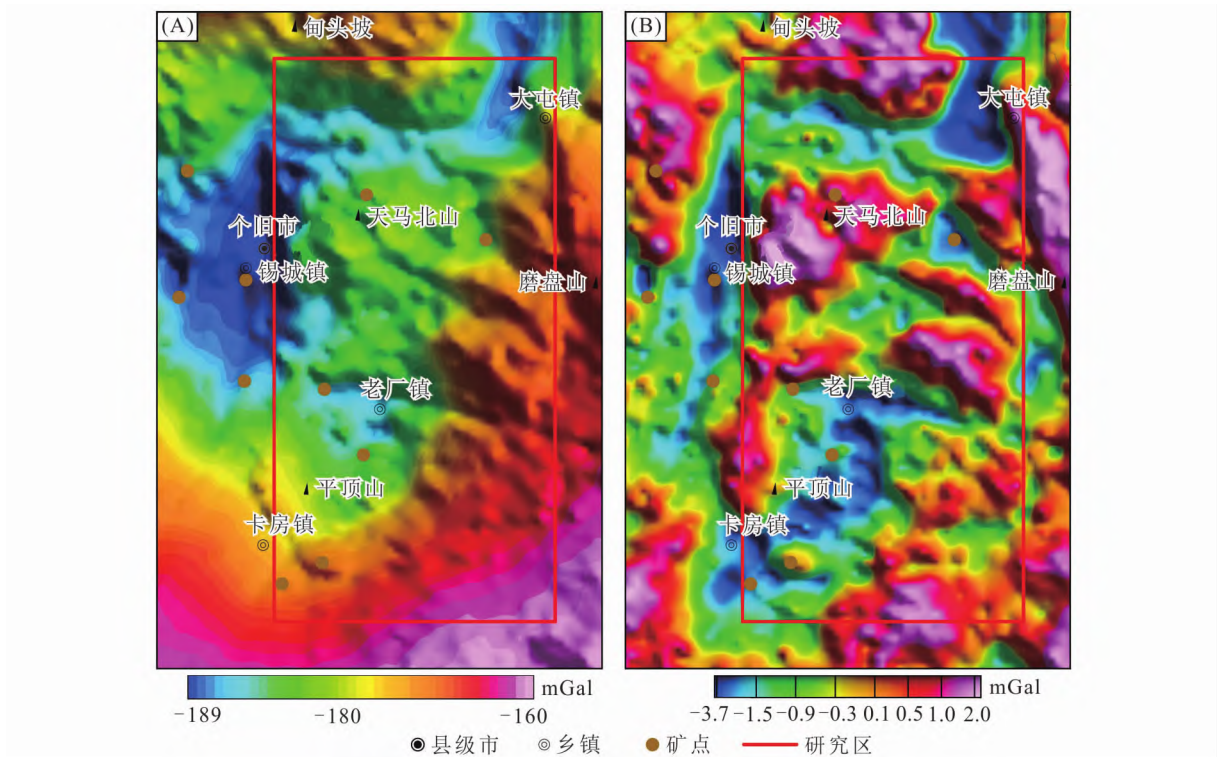


图 2 研究区重力异常图  
Fig. 2 Gravity anomaly map of the study area  
(A) 布格重力异常图; (B) 剩余重力异常图

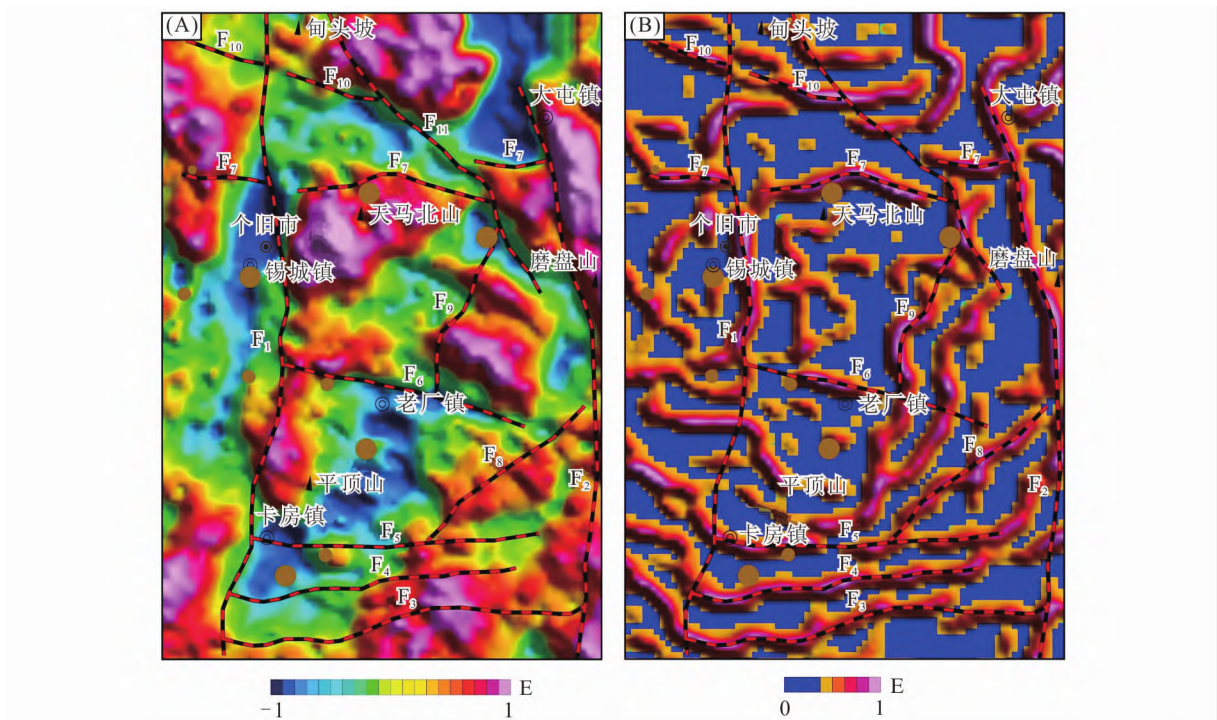


图 3 推测的断裂分布图  
Fig. 3 Distribution of the inferred faults  
(A) 垂向二阶导数; (B) 归一化总水平导数垂向导数

表 1 研究区岩(矿)石密度特征  
Table 1 Rock density characteristics of the study area

地层/岩矿	样品数量	密度/(10 <sup>3</sup> g·cm <sup>-3</sup> )	
		变化范围	平均值
第四系 黄黏土	30	1.58~1.72	1.65
T <sub>2</sub> f 碳酸岩	125	2.34~2.83	2.68
T <sub>2</sub> g 碳酸岩	130	2.47~2.82	2.71
花岗岩	150	2.30~2.79	2.56
玄武岩	55	2.67~3.22	2.82
矽卡岩	40	2.67~3.01	2.78
铁矿石	14	2.83~3.55	3.06
铜矿石	5	3.05~3.11	3.08
锰矿石	7	2.79~2.89	2.79
铅锌矿石	5	2.81~2.86	2.83
锡矿石	7	2.87~2.92	2.90

近南北向断裂 2 条:个旧断裂(F<sub>1</sub>)、甲介山断裂(F<sub>2</sub>);近东西向断裂 4 条:龙树脚断裂(F<sub>3</sub>)、仙人洞断裂(F<sub>4</sub>)、老熊洞断裂(F<sub>5</sub>)、个松断裂(F<sub>7</sub>),为主要控岩控矿断裂;北西向断裂 3 条:背阴山断裂(F<sub>6</sub>)、水龙井断裂(F<sub>10</sub>)、白沙冲断裂(F<sub>11</sub>);北东向断裂 2 条:羊坝底断裂(F<sub>8</sub>)、芦矿坝断裂(F<sub>9</sub>)。从上延不同高度(250~4 000 m)的水平梯度模异常图(图 4)可见,F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 为深部断裂,上延 250~2 000 m 位场变化均有显示;其次是 F<sub>6</sub>、F<sub>7</sub>、F<sub>9</sub>、F<sub>11</sub> 断裂,250~1 000 m 上延位场有明确显示;其余多为浅部断裂,500 m 上延位场异常反映不太明显。据不同上延位场处理结果,研究区内所有断裂均未切穿深部花岗岩体,但是 F<sub>1</sub>(个旧断裂)两侧花岗岩呈现不同的分布状态,西侧花岗岩体连片分布,形成团块状异常,出露岩体面积较大;东侧花岗岩多呈脉状、柱状侵入体,形成局部小范围重力低异常,岩体多呈隐伏状态,地表出露面积较小。在上延 4 000 m 水平梯度模异常图上,异常峰值线反映了花岗岩体深部边界位置,在研究区内呈 U 形展布。不同期次的断裂构造运动为岩浆上涌提供了通道,为成矿提供了场所。

3.2 隐伏岩体突起范围的圈定

半隐伏花岗岩体引起的重力低异常特点就是重力低异常等值线圈闭良好,形态完整,异常幅值大,梯度陡。异常范围比岩体出露面积大(几倍甚至几十倍)<sup>[26]</sup>。岩体隆起范围的圈定主要根据局部剩余重力异常、异常的垂向二阶导数零值线,结合地质、重力剖面反演结果修订、圈定岩体隆起边界。

花岗岩隐伏岩体突起范围(图 5)与剩余重力负异常范围相吻合,与已知矿田位置较吻合,证明矿体与花岗岩体有密切的关系;在调查区内整体呈“入”字形展布。在小马拉格—瓦房冲—罗期底地区存在西北向呈带状展布且宽度一般的突起带;在瓦房冲—老厂—卡房地区存在北东向呈带状展布且宽度较大的突起带,推断这与五子山背斜位置较吻合,证明五子山背斜确实存在。

3.3 剖面反演解释

重力异常定量反演解释的目的是运用各种定量反演方法求取有关场源(拟探测目标物或目标层)的几何参数和物性参数<sup>[27]</sup>。根据研究区重力异常特征及区域物性资料,利用 RGISMAP 软件进行 2.5D 重磁剖面反演模块人机联作方式对布格重力异常进行反演拟合。根据物性测定结果,个旧组地层密度为 2.71×10<sup>3</sup> g/cm<sup>3</sup>,花岗岩体密度为 2.58×10<sup>3</sup> g/cm<sup>3</sup>,玄武岩密度为 2.82×10<sup>3</sup> g/cm<sup>3</sup>,矿体密度为(2.95~3.00)×10<sup>3</sup> g/cm<sup>3</sup>。

据 AA' 剖面反演结果(图 6),剖面重力低异常基本对应岩体局部向上突起部位,构造软弱带是重熔花岗岩向上侵位和矿液流通的良好通道。岩体整体呈“山”字形展布;在岩体与个旧组灰岩的接触部位和构造附近具有良好的成矿条件,特别是岩体局部隆起接触部位。剖面上整体重力异常特征与花岗岩体形态一致,重力高对应于花岗岩体凹陷,重力低对应于花岗岩体隆起。在重力低区域中出现的局部重力高初步推断为金属矿体(铜、铅锌、锡)所致。推断矿体大部分处于断裂或花岗岩体隆起附近。矿体 KT1 推断为蚀变花岗岩型矿体;矿体 KT2 推断为层间矿体;矿体 KT3 推断为矽卡岩型和热液型矿体;矿体 KT4 和矿体 KT5 推断为矽卡岩型矿体;矿体 KT6 推断为热液型矿体;矿体 KT7 推断为玄武岩有关的矿体;矿体 KT8 推断为层间、矽卡岩型和蚀变花岗岩型矿体。矿体 KT1、KT2、KT5、KT6、KT7 和 KT8 为已知矿体,KT3 和 KT4 为推断矿体,为下一步找矿有利部位。

据 BB' 剖面反演结果(图 7),岩体在北侧侵位到更浅的位置(离地表更近),南侧侵位相对更深,且岩体规模较小。在岩体接触部位和构造附近具有良好的成矿条件;矿体 KT9 和 KT12 推断为层间矿体;矿体 KT10、KT11 和 KT13 推断为矽卡岩型矿体。KT9—KT13 为推断矿体,为下



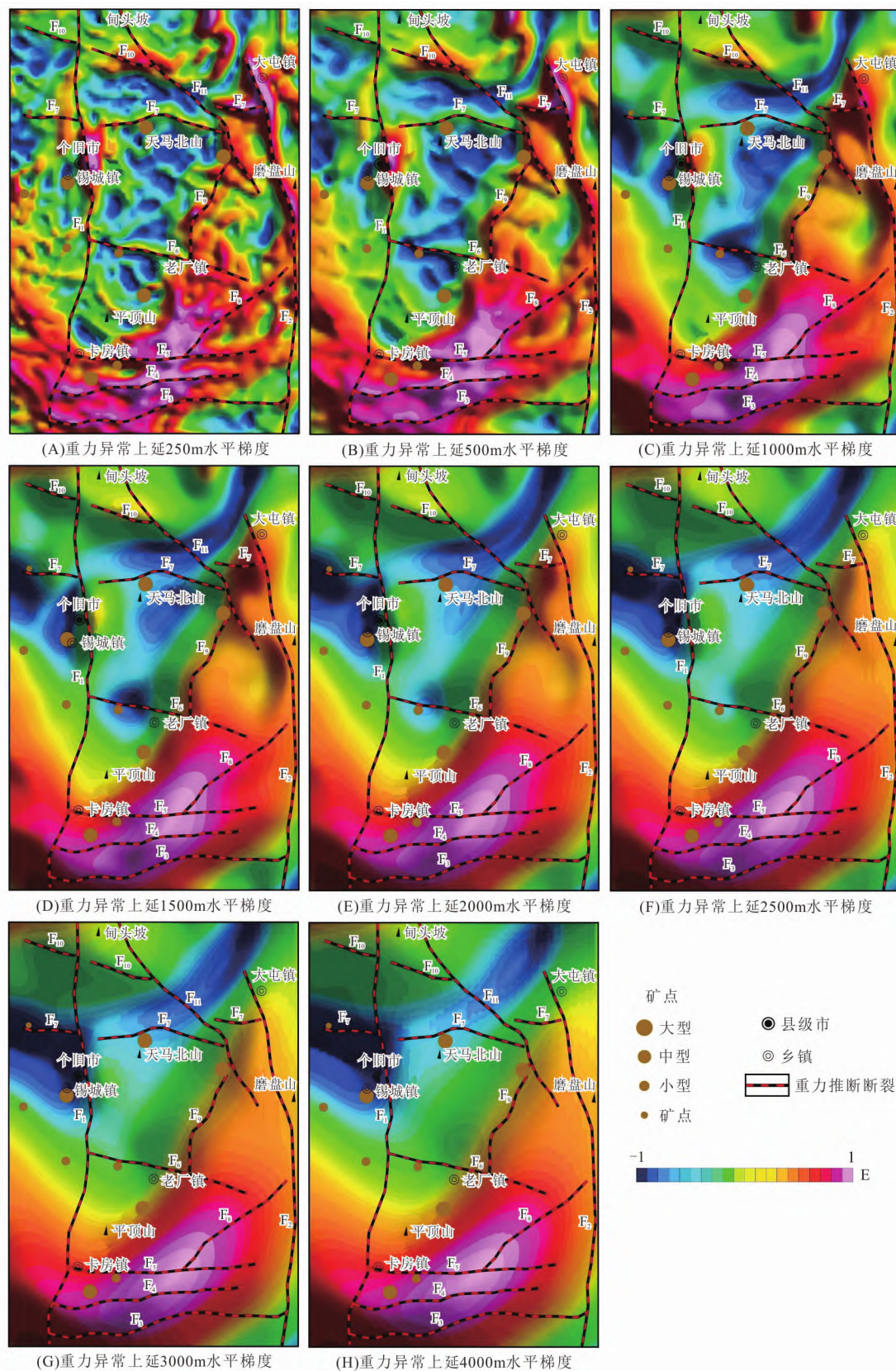


图 4 上延不同高度(250~4 000 m)水平梯度模异常图

Fig. 4 Anomaly map of horizontal gradient modulus at different altitude (250~4 000 m)



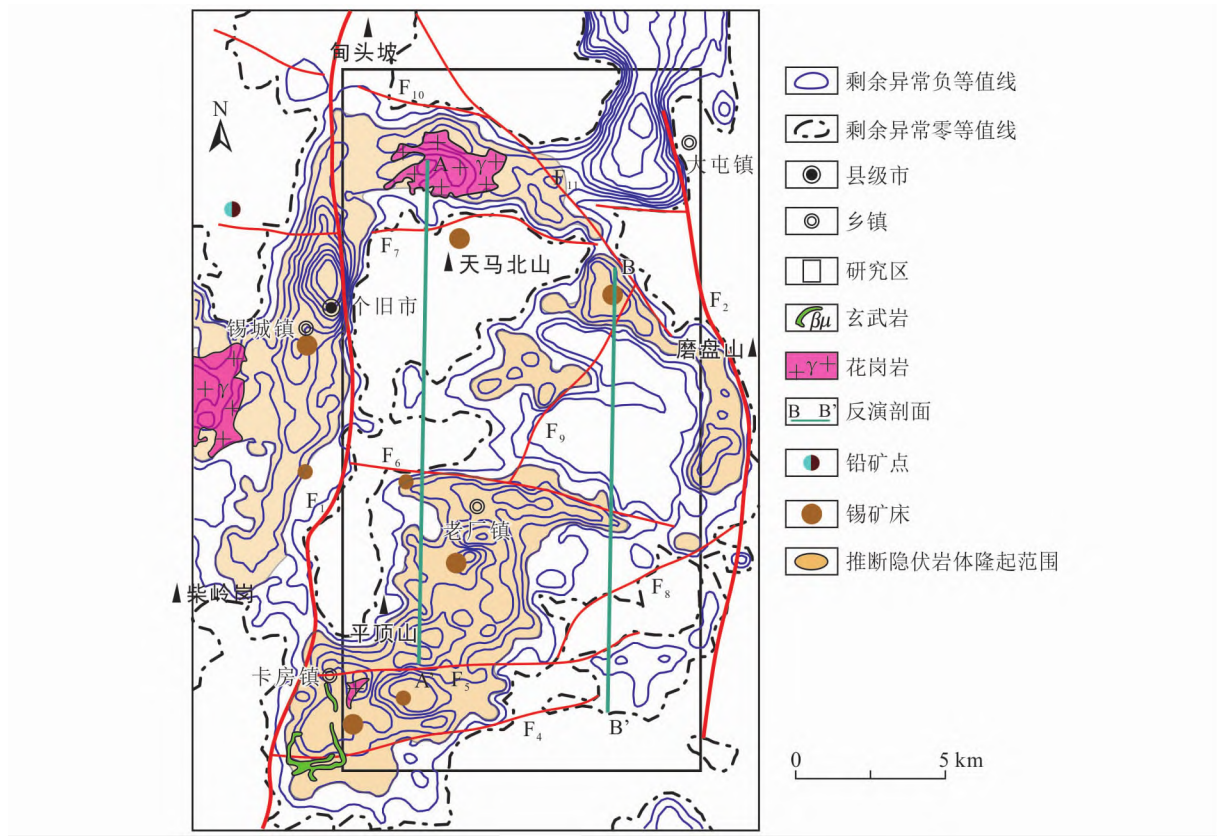


Fig. 5 Inferred result map of concealed rock mass bulge

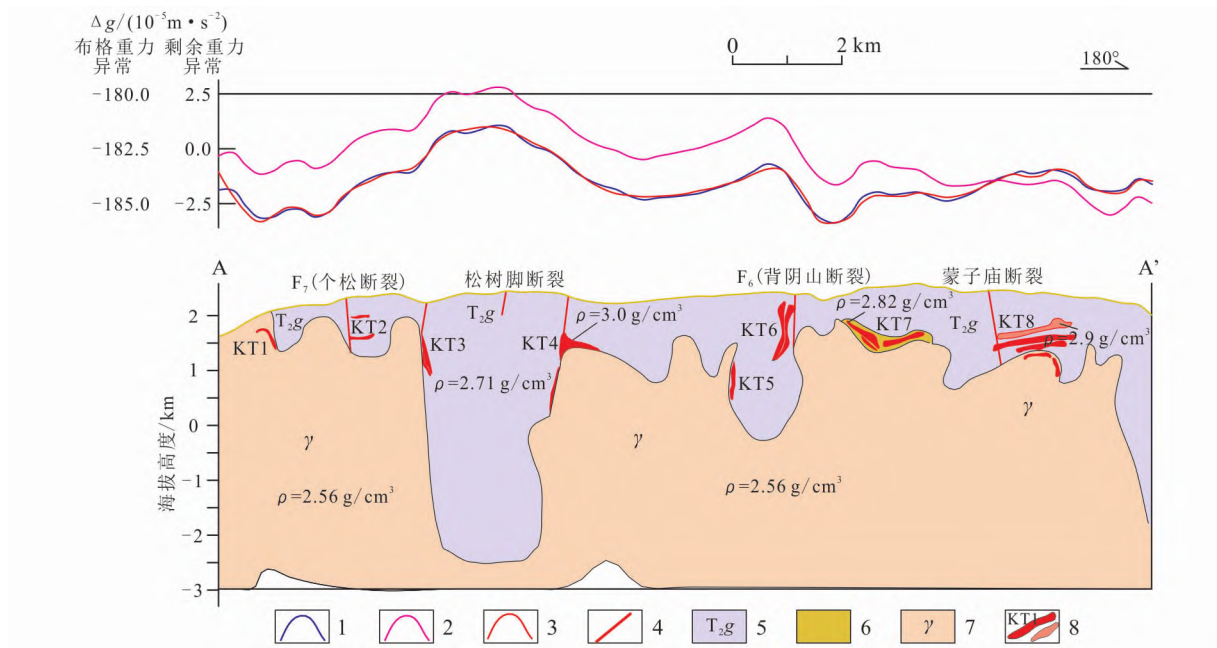


Fig. 6 Results of gravity inversion of AA' profile

1. 布格重力异常曲线; 2. 剩余重力异常曲线; 3. 拟合布格重力异常曲线;  
4. 断裂; 5. 个旧组; 6. 玄武岩; 7. 花岗岩; 8. 推测的矿体及编号

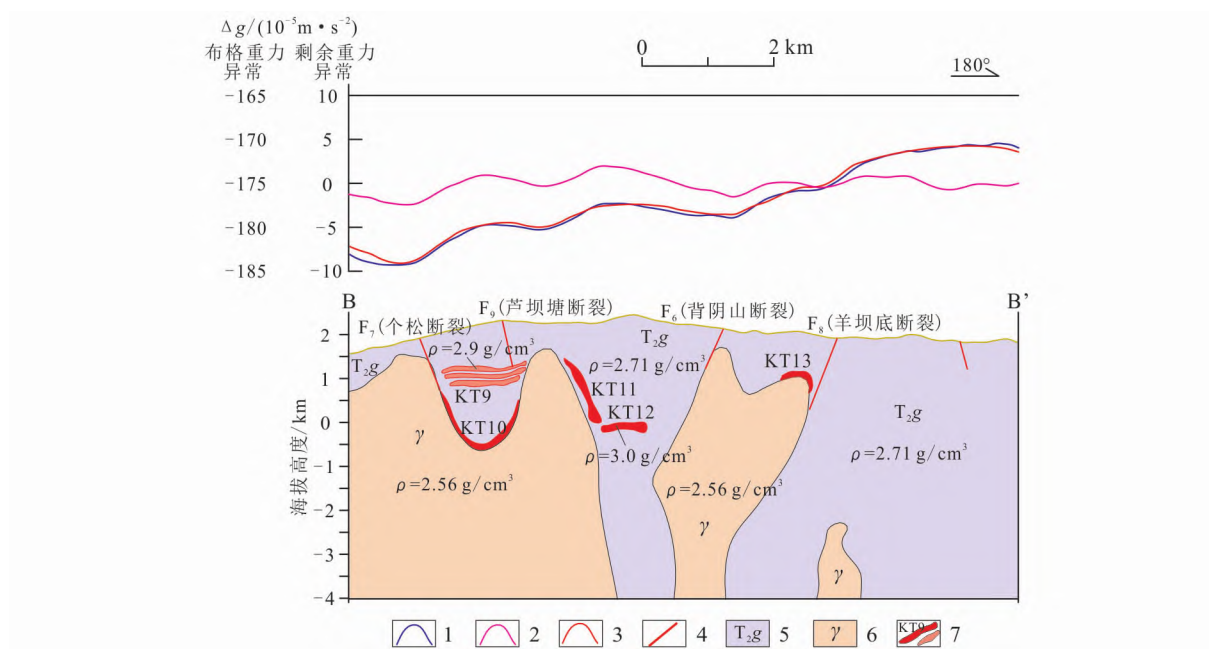


图 7 BB' 剖面重力反演推断结果图

Fig. 7 Results of gravity inversion of BB' profile

1. 布格重力异常曲线; 2. 剩余重力异常曲线; 3. 拟合布格重力异常曲线;  
4. 断裂; 5. 个旧组; 6. 花岗岩; 7. 推测的矿体及编号

一步找矿有利部位。

沿剖面重力低异常两侧出现的局部重力高或重力异常过渡带(构造)部位应是成矿的有利部位,在这些部位岩体局部凹陷或个旧组的增厚都不足以影响曲线形态,认为存在更高的密度体(矿体)才能够引起异常。

综合分析矿体形成在花岗岩体接触带或断裂(构造)附近区域,但花岗岩体接触带不能太深。

## 4 讨论

### 4.1 根据重力异常确定矿体与构造和花岗岩体的关系

根据重力异常结果和已知矿区资料,并结合前人研究成果,初步认为:由于受印支中晚期—燕山早期南北向挤压应力的长期作用,产生在区域上东西向的拉张效应而造成南北向的张性断裂活动,造成了下切较深的南北向断裂,包括个旧断裂( $F_1$ )和甲介山断裂( $F_2$ )。燕山中晚期构造应力作用方式由南北向挤压为主逐渐转变为北西—南东向挤压,形成 SN 向断裂并发生左旋剪切,同时形成一系列叠加在早期东西向褶皱之上的北东向褶皱(五子山复背斜)和断裂,控制燕山期花岗岩侵位的空间和形态<sup>[28]</sup>。喜马拉雅期构造应力作

用由南北向的右旋剪切转化为东西方向的挤压作用,形成东西向断裂,促使含矿热液进入五子山复式背斜的翼部以及北东—南西向与东西向断裂的交汇部位,这些部位为矿液的多次集聚提供了场所。该期还发生先成断裂的再次活动,个旧主干断裂活动加剧,主要构造活动在垂直方向上较为活跃,表现为地壳差异升降、剥蚀,导致西区抬升和东区下降。燕山期花岗岩是以重熔花岗岩为主,侵入中心可能在西区;花岗岩的侵入时间是西区早东区晚,在东区花岗岩的侵入时间是北早南晚。所以个旧西区花岗岩体大面积出露,而东区花岗岩体大面积隐伏;花岗岩体隐伏的深度表现为北浅南深。

花岗岩体为成矿提供了物源;构造为矿液提供了多次集聚的场所。

### 4.2 地质-地球物理找矿模型

根据个旧东区成矿模式图(据西南有色 308 队修编)、重力场特征和两条重力异常剖面反演结果,确定了研究区的深部岩体分布格架,并初步建立地质-地球物理找矿模型(图 8)。该模型中个旧组地层密度为  $2.71 \times 10^3 \text{ g/cm}^3$ ,花岗岩体密度为  $2.58 \times 10^3 \text{ g/cm}^3$ ,玄武岩密度为  $2.82 \times 10^3 \text{ g/cm}^3$ ,矿体密度为  $(2.95 \sim 3.00) \times 10^3 \text{ g/cm}^3$ 。



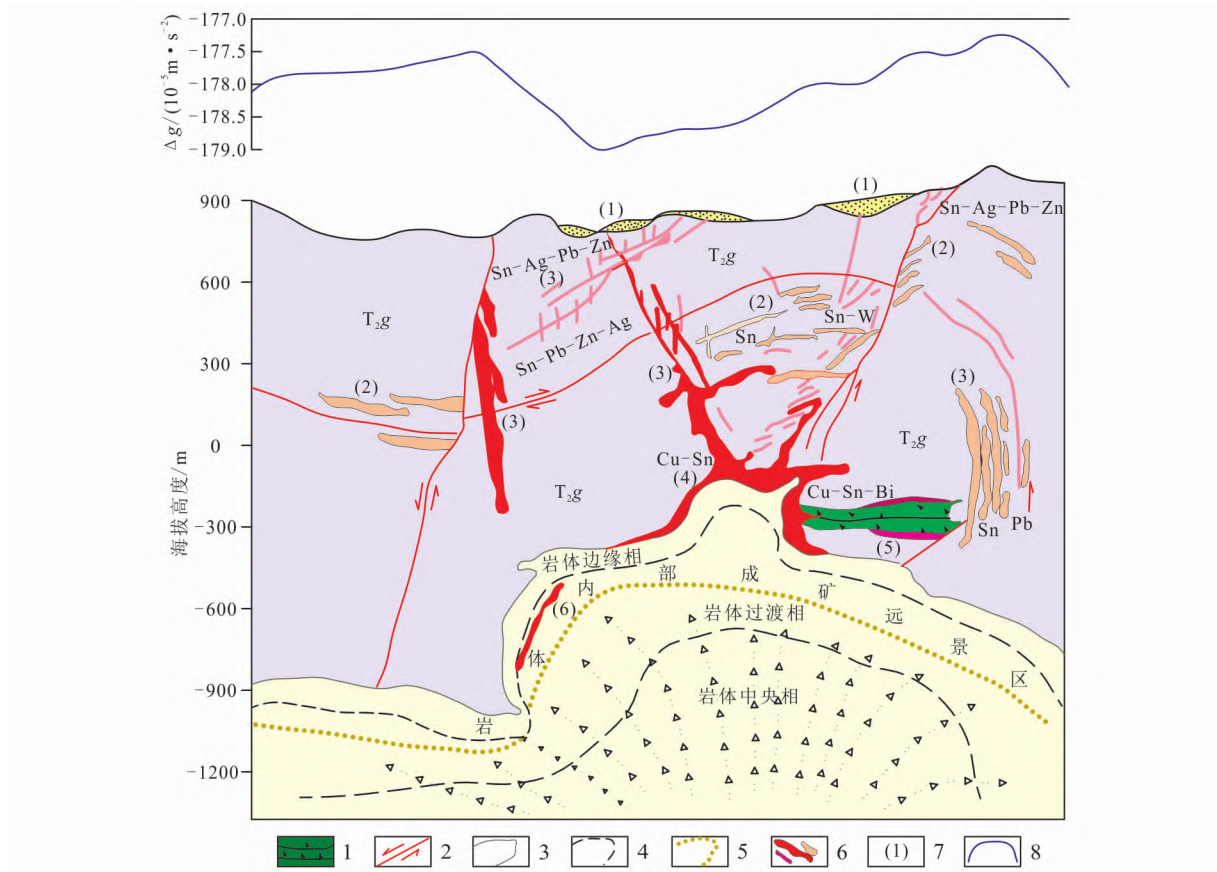


图 8 地质-地球物理找矿模型图

Fig. 8 Geological-geophysical prospecting model diagram

1. 玄武岩; 2. 断裂; 3. 花岗岩界面; 4. 岩体边缘相分界线; 5. 岩体中央相; 6. 矿体; 7. 矿床类型; 8. 正演布格重力异常曲线

根据地质-地球物理找矿模型,个旧地区的个旧组地层和矿体为相对高密度体,引起重力高异常;岩体为低密度体,是造成区内重力低异常的主要原因。由正演结果所示,岩体向上突起能够引起明显重力低异常,岩体凹部对应重力高异常,推断岩体接触带(矿体的富集部位)对重力异常曲线形态有一定的影响。岩体突起中心若存在矿化,对应的重力异常曲线并不是重力低异常中心位置,说明矿体对曲线形态有一定的影响。认为矿体处于重力低异常两侧出现的局部重力高或重力异常过渡带(构造)部位。

燕山中晚期重熔型花岗岩是个旧锡铜多金属矿床的重要物质来源,并且为成矿热液活动提供主要动力和热源;成矿主线是以燕山期多次岩浆热液复合改造为主,构造(断裂、褶皱)提供导矿通道和储存空间,3 种主要围岩(个旧组碳酸盐岩、玄武岩、花岗岩)造就了锡铜多金属矿床的成矿多样性。因此,个旧矿区具有“岩控、层控和构控”的特征和规律。

## 5 结论

- 研究区隐伏岩体在浅部沿五子山复背斜轴部呈北东向多峰式突起,向下有连成一体的趋势,在深部存在一个巨大的穹隆状花岗岩基。
- 从重力场角度分析认为区内断裂未切穿岩体,但构造软弱带(断裂、褶皱)是重熔花岗岩浆向上侵位和矿液的良好通道。
- 根据重力场特征,在个旧东区圈定隐伏花岗岩体突起位置和范围。
- 根据剖面重力反演结果,在某些部位中三叠统和花岗岩体复杂的空间组合均不足以引起该重力异常,推测应存在高密度体(矿体)的影响,间接证明了该区隐伏矿床潜力巨大,并圈定了 7 处找矿有利部位。

## [参 考 文 献]

- [1] 冶金工业部西南冶金地质勘探公司. 个旧锡矿地质[M]. 北京:冶金工业出版社,1984.

- Yunnan Nonferrous Geological Bureau. Geology of Gejiu Tin Mine[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1984. (in Chinese)
- [2] 邓小虎. 个旧锡铜多金属矿区成矿多样性及定量评价[D]. 武汉: 中国地质大学档案馆, 2015.  
Deng X H. Mineralization Diversity and Quantitative Evaluation of Gejiu Tin-Copper Polymetallic Deposit [D]. Wuhan: The Archive of China University of Geosciences, 2015. (in Chinese)
- [3] 於崇文, 蒋耀淞. 云南个旧成矿区锡石-硫化物矿床原生金属分带形成的动力学机制[J]. 地质学报, 1990, 64(3): 226—237.  
Yu C W, Jiang Y S. The dynamic mechanisms of primary metal-zoning of cassiterite-sulfide deposits in the Gejiu ore district, Yunnan Province[J]. Acta Geologica Sinica, 1990, 64(3): 226—237. (in Chinese)
- [4] 黄福生, 穆治国, 陈成业, 等. 个旧锡矿花岗岩的氧氢碳稳定同位素研究[J]. 岩石矿物及测试, 1983, 2(4): 241—247.  
Huang F S, Mu Z G, Chen C Y, *et al.* The study of isotopic composition of oxygen, hydrogen and carbon in granites of tin deposits, Gejiu[J]. Acta Petrologica Mineralogica et Analytica, 1983, 2(4): 241—247. (in Chinese)
- [5] 伍勤生, 许俊珍, 杨志. 个旧含 Sn 花岗岩的 Sr、Pb 同位素特征及其找矿标志[J]. 冶金工业部地质研究所学报, 1983, 3(3): 15—26.  
Wu Q S, Xu J Z, Yang Z. Sr, Pb isotopic characteristics and prospecting criteria of Gejiu Sn bearing granite[J]. Bulletin of Geological Institute, Ministry of Metallurgical Industry, 1983, 3(3): 15—26. (in Chinese)
- [6] 赵一鸣, 李大新. 云南个旧锡矿床花岗岩接触带的交代现象[J]. 中国地质科学院院报, 1987, 9(2): 237—252.  
Zhao Y M, Li D X. Metasomatic phenomena in the granite contact zones of the Gejiu tin deposit, Yunnan Province, China[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1987, 9(2): 237—252. (in Chinese)
- [7] 戴福盛, 殷成玉. 个旧锡矿区方铅矿的某些成因矿物学特征及其找矿意义[J]. 矿物学报, 1991, 11(2): 172—178.  
Dai F S, Yin C Y. Some genetic mineralogical characteristics of galena from the Gejiu Sn mining district and their significance in prospecting [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1991, 11(2): 172—178. (in Chinese)
- [8] 普传杰, 刘春学, 薛传东, 等. 个旧锡矿高松矿床原生晕研究[J]. 矿物学报, 2004, 24(2): 176—180.  
Pu C J, Liu C X, Xue C D, *et al.* Research on primary halos of Gaosong ore field in Gejiu tin mine [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, 24(2): 176—180. (in Chinese)
- [9] 谈树成, 秦德先, 陈爱兵, 等. 个旧锡矿区域地壳演化与成矿探讨[J]. 矿物学报, 2004, 24(2): 157—163.  
Tan S C, Qin D X, Chen A B, *et al.* Regional crust evolution and metallogenesis of Gejiu tin deposit — A discussion [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, 24(2): 157—163. (in Chinese)
- [10] 秦德先, 黎应书, 谈树成, 等. 云南个旧锡矿的成矿时代[J]. 地质科学, 2006, 41(1): 122—132.  
Qin D X, Li Y S, Tan S C, *et al.* Metallogenic ages of Gejiu tin ore deposit in Yunnan Province[J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(1): 122—132. (in Chinese)
- [11] 陈守余, 赵鹏大, 张寿庭, 等. 个旧超大型锡铜多金属矿床成矿多样性与深部找矿[J]. 地球科学, 2009, 34(2): 319—324.  
Chen S Y, Zhao P D, Zhang S T, *et al.* Mineralizing multiformity and deep prospecting of Gejiu super Sn-Cu multi-metal deposit, Yunnan, China[J]. Earth Science, 2009, 34(2): 319—324. (in Chinese)
- [12] 罗君烈. 滇东南锡、钨、铅、银矿床的成矿模式[J]. 云南地质, 1995, 14(4): 319—332.  
Luo J L. Metallogenic model of tin, tungsten, lead zinc and silver deposits in southeastern Yunnan[J]. Yunnan Geology, 1995, 14(4): 319—332. (in Chinese)
- [13] 庄永秋, 王任重, 杨树培, 等. 云南个旧锡多金属矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1996: 108—124.  
Zhuang Y Q, Wang R Z, Yang S P, *et al.* Gejiu Tin Polymetallic Deposit, Yunnan [M]. Beijing: Seismological Press, 1996: 108—124. (in Chinese)
- [14] 薛传东. 个旧超大型锡铜多金属矿床时空结构模型[D]. 昆明: 昆明理工大学档案馆, 2002.  
Xue C D. The Space-time Structure Model of the Gejiu Superlarge Tin-copper-polymetallic Deposit [D]. Kunming: The Archive of Kunming University of Science and Technology, 2002. (in Chinese)
- [15] 史蕊, 陈建平, 王刚, 等. 云南个旧竹林矿段三维成矿预测及靶区优选[J]. 地质通报, 2015, 34(5): 944—952.  
Shi X, Chen J P, Wang G, *et al.* The 3D metallogenic prediction and optimization of targets in the Zhulin ore block of Gejiu, Yunnan Province[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(5): 944—952. (in Chinese)
- [16] 陈守余, 赵鹏大, 童祥, 等. 个旧东区蚀变花岗岩型锡铜多金属矿床成矿特征及找矿意义[J]. 地球科学,

- 2011, 36(2): 277—281.
- Chen S Y, Zhao P D, Tong X, *et al.* Metallogenic characteristics of western low altered tin-copper polymetallic deposit and its prospecting significance in east part of Gejiu, Yunnan[J]. *Earth Science*, 2011, 36(2): 277—281. (in Chinese)
- [17] 沈思联, 李建平, 杨宝富. 个旧东区蚀变花岗岩型锡-铜多金属矿床地质地球化学特征与勘探[J]. *矿物学报*, 2016, 36(4): 471—478.
- Shen S L, Li J P, Yang B F. Geological and geochemical features and its exploration of altered granite type Sn-Cu polymetallic deposits in eastern part of Gejiu, Yunnan, China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2016, 36(4): 471—478. (in Chinese)
- [18] 王玉梅. 滇黔桂部分地区重力场特征及其找矿意义[J]. *桂林冶金地质学院学报*, 1981, 1(增刊 1): 1—16.
- Wang Y M. Characteristics of gravity field and its prospecting significance in some areas of Yunnan, Guizhou and Guangxi[J]. *Journal of Guilin Institute of Metallurgical Geology*, 1981, 1(S1): 1—16. (in Chinese)
- [19] 卢汉堤, 黄凯, 敬荣中. 云南个旧超大型矿床地质特征及成矿模式[J]. *矿产与地质*, 2014, 28(2): 143—147.
- Lu H D, Huang K, Jing R Z. Geological characteristics and metallogenic model of super-large mineral deposits in Gejiu of Yunnan[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2014, 28(2): 143—147. (in Chinese)
- [20] 陈勇. 云南个旧锡矿东区隐伏矿体定位与定量预测研究[D]. 北京: 中国地质大学档案馆, 2009.
- Chen Y. Study on Localized and Quantitative Prediction of Concealed Deposits in the Eastern Gejiu Deposit[D]. Beijing: The Archive of China University of Geosciences, 2009. (in Chinese)
- [21] 唐鉴, 范国柱, 薛玲香, 等. 云南省个旧地区锡铜矿整装勘查重力测量项目成果报告[R]. 昆明: 云南省地质调查院, 2011.
- Tang J, Fan G Z, Xue L X, *et al.* Report on the Results of Gravity Survey Project of Tin Copper Ore Bulk Loading Exploration in Gejiu Area, Yunnan Province[R]. Kunming: Yunnan Institute of Geological Survey 2011. (in Chinese)
- [22] 张辉敏. 个旧东区玄武岩型锡铜多金属矿床成矿特征与成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学档案馆, 2007.
- Zhang Y M. The Metallogenic Features and Ore-forming Prediction of Basalt Type Tin-copper-polymetallic Deposit in the East Area of Gejiu[D]. Beijing: The Archive of China University of Geosciences, 2007. (in Chinese)
- [23] 陈克忠. 个旧锡矿老厂矿田断裂构造解析[D]. 昆明: 昆明理工大学档案馆, 2016.
- Chen K Z. Analysis of Fracture Structural in the Laochang Ore-field of Gejiu Tin Deposit, Yunnan [D]. Kunming: The Archive of Kunming University of Science and Technology, 2016. (in Chinese)
- [24] 周永恒, 李国伟, 李奕. 个旧卡房成矿区断裂构造控矿模式及找矿方向[J]. *现代矿业*, 2017, 33(4): 52—56.
- Zhou Y H, Li G W, Li Y. Fault structure ore-controlling pattern and prospecting direction of Kafang metallogenic area in Gejiu City[J]. *Modern Mining*, 2017, 33(4): 52—56. (in Chinese)
- [25] 睢瑜, 陈建国, 赵江南. 个旧高松矿区三维地质建模及储量估算[J]. *地质找矿论丛*, 2011, 26(3): 277—282.
- Sui Y, Chen J G, Zhao J N. 3D geological modeling and reserve calculation for Gaosong Sn ore field in Gejiu area[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2011, 26(3): 277—282. (in Chinese)
- [26] 黄俊平, 徐荣华, 姚绍萍. 重力勘探法在江西省中酸性岩体圈定中的应用[J]. *地球物理学进展*, 2016, 31(4): 1583—1592.
- Huang J P, Xu R H, Yao S P. Application of gravitational method of exploration in delineation of buried intermediate acid granite[J]. *Progress in Geophysics*, 2016, 31(4): 1583—1592. (in Chinese)
- [27] 曾华霖. 重力场与重力勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- Zeng H L. Gravity Field and Gravity Exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005. (in Chinese)
- [28] 王力. 个旧锡铜多金属矿集区成矿系列、成矿演化及成矿预测研究[D]. 长沙: 中南大学档案馆, 2004.
- Wang L. Researches on Metallogenic Series, Metallogenic Evolution and Metallogenic Prognosis in the Gejiu Tin-Copper Polymetallic Ore-concentrating District[D]. Changsha: The Archive of Central South University, 2004. (in Chinese)